

## 強風時の新しい 運転規制方法の導入



栗原 芳勝\*



大山 安紀子\*



土井 賢一\*



安田 陽一\*

2005年に羽越本線北余目・砂越間において発生した列車脱線事故以降、当社は『車両が風から受ける力をより適正に評価し運転規制を行う手法』<sup>1)</sup>の構築を(公財)鉄道総合技術研究所と共に検討してきた。

この結果、近年の強風による事故調査結果や研究成果などに基づいて、風の観測方法や車両の転覆耐力の算出方法を見直し、科学的な根拠に基づくより安全で合理的な強風時の新しい運転規制方法を実用化した。なお、本方法は、部外学識経験者などを交えた検討会・委員会の審議を経て、2011年度冬期より一部線区への導入が進められている。

●キーワード：転覆限界風速、総研詳細式、風観測、3本風速計、運転規制

### 1. はじめに

2005年12月25日の特急いなほ号脱線・転覆事故後、風速に応じて列車の運行を制限する運転規制について、JR東日本を含むいくつかの鉄道事業者では、運転中止の基準としていた規制発令風速を30m/sから25m/sに早め、暫定的に安全性を高めている。しかし、国土交通省の航空・鉄道事故調査委員会(当時)の事故調査報告書<sup>2)</sup>によると、事故の原因は局所的な突風によるものと推定されており、沿線の風速計による観測では困難であった。一方、規制発令風速を早めた処置の定量的な評価や、現行の規制ルールそのものの合理性や妥当性について改めて検討したことはこれまでほとんどなかった。

そこで(公財)鉄道総合技術研究所(以下、鉄道総研)の協力を得て、近年の強風による事故調査結果や関連する研究成果から、車両の「転覆限界風速算出方法」や「風観測方法」について、より実態に即した形で評価する方法を検討および検証を行った。これを踏まえ、これらを用いたより安全かつ適正な「強風時の新しい運転規制方法」を構築し、2011年12月の羽越本線をはじめとして、3線区7区間に導入してきた。

本稿では、この新しい運転規制方法の核となる「総研詳細式」<sup>3)</sup>、「3本風速計」について解説すると共に、新しい運転規制方法の具体的な内容について報告する。

### 2. 「総研詳細式」に基づく風規制

強風時の新しい運転規制方法(以下、本風規制方法)は、車両の転覆限界風速算出方法に「総研詳細式」を、風観測方法には「3本風速計」を採用した。この「総研詳細式」と「3本風速計」を組み合わせることによって、本風規制方法を導入することが可能となる仕組みとしている。

#### 2.1 総研詳細式

これまでの風規制方法では、車両の転覆限界風速計算式に「国枝式」<sup>4)</sup>を採用している。これに対し、本風規制方法では鉄道総研が提案している「総研詳細式」を採用した。

「総研詳細式」は、強風による車両転覆事故における近年の研究から得られた知見を反映し、特に転覆に大きな影響を及ぼす空気力を「国枝式」と比べて詳細に評価できるのが特徴の計算式である。

総研詳細式と国枝式の主な違いは表1のとおりである。

「総研詳細式」の主な特徴を挙げると、

- ①空気力の、車体形状、地上構造物形状、先頭車と中間車の違いに対する依存性を反映。
- ②横風による空気力として、横力に加え、揚力、ローリングモーメントを考慮する。
- ③国枝式では真横から吹く風のみを対象としているが、総研詳細式では車両の自然風ベクトルと走行風ベクトルの合成風ベクトルが車両に作用すると仮定し、車両に対する相対風向角に応じた空気力を評価する。
- ④車体左右振動加速度として車両・軌道条件に適合した数値を用いる。

これらのうち、①の車体形状、地上構造物形状が車両の転覆耐力に与える影響(空気力特性)については、鉄道総研が提唱する代表的な5車種の車両形状(通勤、二階建て、

表1 「総研詳細式」と「国枝式」の違い

| 比較項目       | 総研詳細式            | 国枝式                           |
|------------|------------------|-------------------------------|
| 計算式の特徴     | 詳細な力学モデルによる解析式   | 車体重心高さを高めに仮定して安全余裕を確保した簡易な解析式 |
| 風          | 自然風と走行風を合成した斜めの風 | 真横からの風のみ                      |
| 車体に作用する空気力 | 横力・揚力・モーメントを考慮   | 横力のみを考慮し横力係数を1.0と仮定           |
| 地上構造物の影響   | 空気力係数において考慮      | 考慮しない(平らな地面と仮定)               |
| 車体形状の影響    | 空気力係数において考慮      | 直方体形状として考慮                    |
| 車両諸元       | 空気バネや軸バネの変位を考慮   | 重心高さを1.25倍にしてバネ系は簡略化          |

特急、客車、貨物」と地上（線路）構造物7形状（単線橋梁 桁高1m, 2m, 3.5m、複線高架橋 桁高 1m, 3.5m, 6m、単線築堤 のり勾配1.5、高さ8.72m）の組み合わせ（図1参照）による風洞試験結果<sup>5), 6)</sup> が得られている。

本風規制方法では、転覆耐力を計算する車両の車体断面形状と最も似通っているものを図1の「代表的な5種類の車両形状」から選び、地上構造物形状については本風規制方法を導入する風規制区間において地上構造物査定を行い、区間内の地上構造物を図1の「代表的な7種の地上構造物形状」のいずれかにあてはめて計算する。このとき、計算対象の形状を図1の代表的な形状から選択するのが難しい場合は、安全側の評価となるように形状を選択する。

もし、計算対象車種の車体形状が独特で代表的な形状に当てはめることができない、もしくはその車体形状が持つ空気力特性を正確に求めたい場合は当該車両の模型による風洞試験を実施して求めることとなる。

また、③の自然風と走行風の合成風について図2に示す。「国枝式」では車両に真横から吹き付ける風のみ対象としているが、車両の走行速度が高くなると走行風も高くなり、転覆限界風速に影響を与えることが分かっている。そのため、「総研詳細式」では合成風の風向、風速による影響を適正に評価できる。

また、そのほかの計算に必要なパラメータとして、

- ・車両各部の主要寸法、質量、ばね諸元
- ・曲線諸元（曲線半径、カント量）
- ・計算対象箇所の制限速度
- ・許容する輪重減少率

などがある。なお、通常「転覆限界風速」とは風上側の

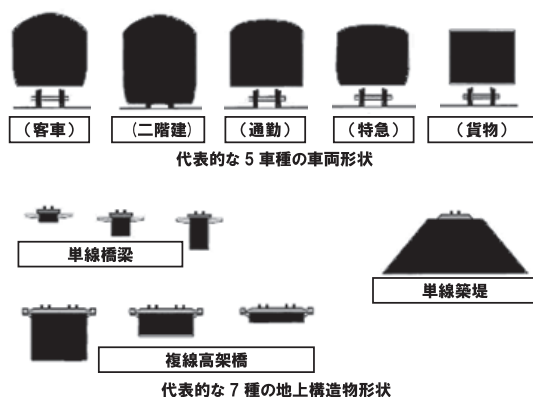


図1 5車種の車両形状と7種の地上構造物形状 参考文献7)

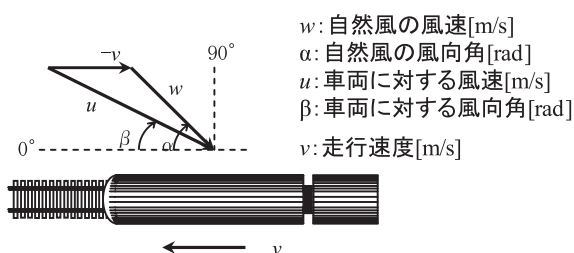


図2 自然風と走行風の合成風 参考文献3)

輪重減少率が100%に達するときの風速を指す。しかし、本風規制方法では、許容する輪重減少率として100%より低い、許容範囲を持たせた値に設定し、その許容する輪重減少率に達するまでの風速および走行可能速度を許容する。以降、本稿では、許容する輪重減少率に基づいて計算された風速のことを「転覆限界風速」、計算された風速および走行可能速度を合わせて「転覆耐力」と記す。

これらのパラメータを用いた計算結果として、特定の地上構造物上を走行する特定の車両の

- ・走行速度に対する転覆限界風速
  - ・風速に対する走行可能速度
  - ・曲線内方・外方別転覆耐力
- を求めることができる。

## 2.2 3本風速計

これまでの風観測は、風規制区間を代表する1本の風速計が観測した瞬間値を風規制に用いている。これに対し、本風規制方法では、車体に当たる風を合理的に評価する方法として「3本風速計」を導入した。これは、車体全長（在来線車両は20m）に相当する距離に3本の風速計を均等に並べて設置し、それぞれの風速計の瞬間値を同時刻で空間平均化（RMS値）して規制用風速に用いるものである。図3に従来の風観測方法と「3本風速計」による新たな風観測方法を示す。

「3本風速計」の導入により、風速計1基による観測よりも、空間内で車体側面に一様に吹きつける風を合理的に観測することができる。風速計1基の観測では、空間内の一様ではない風も捉えてしまうが、このような車両の転覆耐力には影響を与えない風は「3本風速計」の導入により捉えることがなくなった。

また、防災研究所では「3本風速計」導入により得られた風速データを分析し、「3本風速計」と同等の風況を観測できる、さらに新しい風観測方法として「1本風速計」観測値の「時間平均化」による風観測方法の導入に向けた準備も進めている。この「時間平均化」については、本号掲載の一般論文「列車運転規制に用いる風速の評価方法に関する統計的検討」で紹介している。

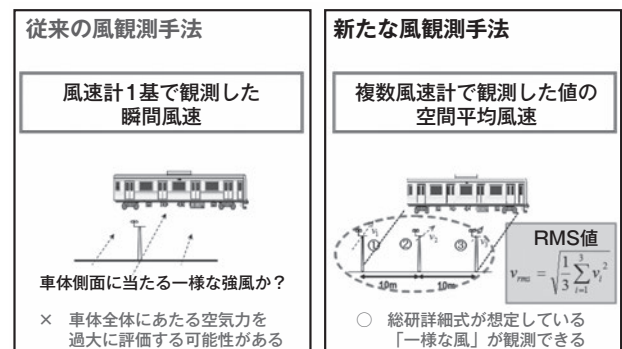


図3 従来の風観測と新たな風観測（3本風速計）

### 3. 強風時の新たな風規制方法

本風規制方法は「総研詳細式」の利点を活用し、柔軟に強風時の運転規制ルールを検討できる仕組みであるが、これまでの風規制方法よりも事前検討や手続きは煩雑となる。

既存の「国枝式」に基づく規制では、車両は地上構造物の形状、走行速度や曲線、カント条件によらず一定の風速(30m/s)に耐えられる構造であり、一定の風速(30m/s)以下の風であれば、どのような場所で、どのような速度で走行していても転覆しないという前提を置いている。これに対し「総研詳細式」では、地上構造物形状の違い、走行速度の違い、曲線諸元の違いを加味して、細かく転覆耐力を計算することができる。

「総研詳細式」で転覆耐力を計算する場合、風の影響を受けやすい地上構造物(盛土、橋梁、高架橋)では「国枝式」による計算よりも転覆耐力が低く算出される傾向がある。急曲線、高カントもしくは通過速度の速い低カントの曲線でも転覆耐力は低く算出される。本規制方法では、これらの条件にあてはまる風規制区間内の特定箇所にとのように運転規制や防風壁などの対策を施せばよいかを「総研詳細式」による計算結果に基づいて検討することになる。

また、本風規制方法では、「国枝式」に比べて計算量が膨大な「総研詳細式」を容易に扱えるようにするために、「転覆限界風速計算システム」を開発、導入し、計算作業を極力軽減した。

#### 3.1 「転覆限界風速計算システム」の導入

「転覆限界風速計算システム」(以下、システム)は、膨大な「総研詳細式」の計算を自動で行い、出力するシステムである。計算に必要なパラメータには、車両諸元(主要寸法、重量、ばね係数、車体断面形状の種別など)、地上構造物形状、曲線諸元、速度条件があり、これらはすべてシステム上でデータベース化している。このうち、曲線諸元は全社的に管理されている曲線データベース(「TRAMS」データ)と同じデータとしており、速度条件については「列車運転速度表」をデータベース化している。

ユーザは、車種、走行線区と駅もしくはキロ程を指定するだけで、システムが自動的にデータベースから必要なパラメータを検索して、転覆耐力を計算する。また、車両諸元の一部を変更したり、地上構造物、曲線の諸元を変えて試算できる機能も有している。

操作画面は極力簡素化し、プルダウンメニューやチェックボックスを多用して、とても扱いやすいユーザーインターフェイスとしている。計算結果の出力も、フォーマットを工夫すると共に、色分けして視認性をよくした。図4に計算結果の出力例を示す。

また、このシステムは、社内ネットワーク上のサーバとして構

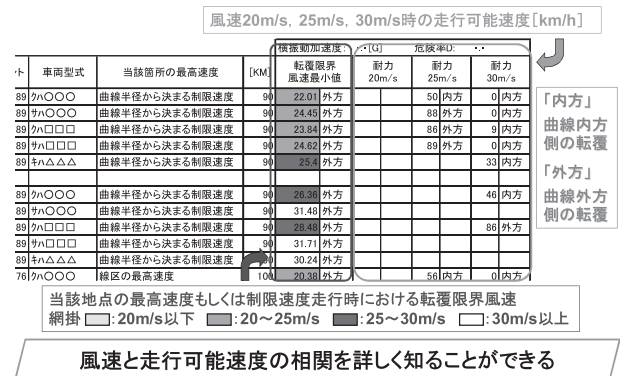


図4 「転覆限界風速計算システム」出力結果例

築しており、アクセス権限を付与したユーザならデスク上のパソコンから利用できるようにした。

#### 3.2 本風規制方法導入前に必要な作業

本規制方法を導入しようとする風規制区間には、さまざまな車種の列車が入線し、さまざまな地上構造物、曲線が存在する。「転覆限界風速計算システム」ではユーザが指定する計算条件に従い、必要なデータを検索、計算するが、それ以前に必要なデータがすべてデータベースに登録されていなければならない。データベースのうち、ユーザが構築しなければならないものは、車両諸元と地上構造物のデータベースになる。

車両諸元については、入線確認されている車種についてはすべて登録する必要がある。現時点で新形式車両や貨物車両など一部の車両を除き、大半の車種は登録済みとなっている。

地上構造物については、地上構造物査定をする必要がある。図5に一例を示すが、A駅とB駅の間に風規制区間である場合、どのような地上構造物が並んでいるかを調べ、一定間隔に区切って、その区間中で最も風の影響を受けやすい地上構造物を選択し、データベースに登録する。地上構造物形状の選択肢は、図1の「代表的な7種の地上構造物形状」に「素地」(平らな地面)を加え、さらに防風壁設置の有無の条件を加えたものを用意しており、その中から適切なものを選ぶ。

区切った中に「素地」(平らな地面)、「盛土」、「橋梁」が並んでいるとすれば、風の影響を受けやすい地上構造物は

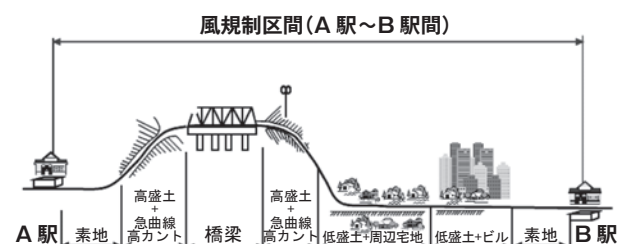


図5 風規制区間と地上構造物のイメージ



「盛土」もしくは「橋梁」になるため、試算してどちらか厳しい方を選択する。

場合によっては、地上構造物形状の選択肢のどれにも当て嵌め難いような地上構造物もある。その場合は、安全側の査定となるように転覆耐力が厳しく算出される地上構造物形状を選択するルールとしている。

一度、地上構造物のデータベースを登録すれば、それ以降、地上構造物が変更されない限りはその風規制区間の転覆耐力をシステムで容易に計算できるようになる。

### 3.3 運転規制方法や地上対策の検討

車両諸元、地上構造物の各データベースが揃えば、転覆耐力が計算可能となる。

ここで、計算例からどのように運転規制方法や地上対策が検討できるのかを示す。

図6は、A形式とB形式のそれぞれの車両形式について、「素地+急曲線」、「直線橋梁」、「高盛土+急曲線」の3種の地上構造物上における転覆耐力計算結果を示している。図中の「制限速度」は、各「急曲線」では曲線の制限速度、「直線橋梁」はこの線区の最高速度もしくは車両の最高運転速度を示している。

#### (1) 対策の必要性判断

図6のように「総研詳細式」では、地上構造物が「高盛土」の場合には転覆耐力が低く計算される。このように風規制区間に「高盛土」や「橋梁」、「高架橋」など低く計算される地上構造物が存在する場合は大抵、当該区間にどのような対策をするべきかが課題となる。

図6の「高盛土」区間では、転覆限界風速がA形式は18.5m/s、B形式は21.7m/sとなっている。風規制は、「早め規制」（徐行規制発令風速20m/s、運転中止発令風速25m/s）と「一般規制」（徐行規制発令風速25m/s、運転中止発令風速30m/s）の二通りがあり、防風柵を設置しなければ「早め規制」が適用されている。「早め規制」の場合、転覆限界風速が20m/s以上でないと徐行規制がかかる前に、車両転覆の可能性があるのであることになる。したがって、A形式については「早め規制」を下回っているため、「高盛

土」区間には何かしらの制限を設けることが必須となる。この場合に考えられる対策として、

- ・運転規制対策
  - －A形式の当該区間の制限速度を転覆限界風速が20m/sを上回る走行速度まで減速
  - －徐行規制発令風速を現行の20m/sから18m/sに変更
- ・地上設備対策
  - －「高盛土」区間に防風柵設置
  - －急曲線の線形を改良（たとえばカント低減など）
- ・車両対策
  - －転覆耐力向上のため車両改造
  - －A形式の入線確認を取り消し（入線不可）などの方法が考えられる。

さらに、この「高盛土」区間を「一般規制」に変更する場合には、転覆限界風速25m/s以上が必須となるため、A形式、B形式共に現状では「一般規制」を満たすことができず、さらに制限を加える必要があることが分かる。

#### (2) 柔軟な規制値設定の検討

もし、「高盛土」区間に防風柵を設置すれば図7のようになり、「素地+急曲線」、「直線橋梁」の2区間のみ考慮すればよいことになる。このときの転覆限界風速の最小値はA形式の24.6m/sで、この転覆限界風速を0.4m/s分改善できれば「一般規制」に変更できる。このとき、運転規制緩和のひとつの方法として、この風規制区間の徐行規制発令風速を24.6m/sを下回る24.0m/sに設定することも考えられる。（図7の矢印を参照）現状では、「早め規制」で20m/s、「一般規制」で25m/sと規制発令風速値が固定化されているが、柔軟に規制発令風速を変更できるようになれば、このような規制方法も有効な手立てとなる。

#### (3) 常時速度制限や徐行速度の見直し

図8は、3種の地上構造物上における、風速20m/s、25m/s、30m/s時の走行可能速度を示している。

当該区間が「早め規制」であれば、風速20m/sでもその区間の最高速度で走行可能で、風速25m/sでは徐行速度25km/hで走行可能でなければならず、「一般規制」であれば、風速25m/sでもその区間の最高速度で走行可能で、風

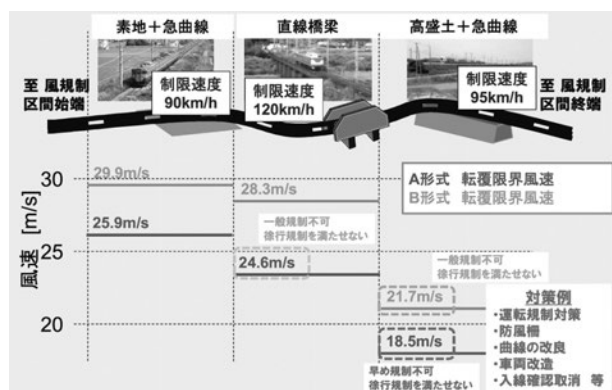


図6 転覆限界風速①



図7 転覆限界風速②

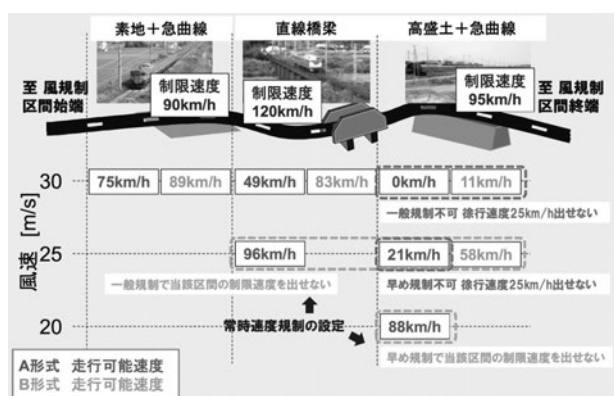


図8 強風時の走行可能速度①

速30m/sでは徐行速度25km/hで走行可能でなければならない。図8を見ると、A形式は風速20m/s時に「高盛土」区間の制限速度95km/hを下回る88km/hまでしか速度が出せず、風速25m/s時も徐行速度25km/hを下回る21km/hしか速度を出ることができない。そのため、A形式は「早め規制」を満たすことができないことから、前述のような制限方法のいずれかを取り入れることが必須となる。規制発令風速において当該区間の制限速度まで走行速度を出ることができない場合、当該形式に対して強風時であるに関わらず常時速度制限を設定したり、新たな徐行速度を設定する方法もある。たとえば図8を「早め規制」で考えた場合、A形式に対しこの「高盛土」区間に制限速度85km/hの常時速度制限を設定すると共に、徐行速度を現行25km/hから20km/hに下げるといものである。これであれば、「早め規制」下でもA形式はこの区間を走行可能となる。

図9は、逆に徐行速度を向上できる場合を示す。たとえば、図中のように「高盛土」区間に防風柵を設置し、徐行規制発令風速においてA形式、B形式共に適切な規制方法などを設定できたと仮定する。すると、図9から「一般規制」の運転中止発令規制風速30m/s時において、走行可能速度の最小値は49km/hであることが分かる。徐行速度の設定を変更することが可能であれば、この風規制区間の徐行速度を現行25km/hから、49km/hまで向上させることも可能であることが分かる。

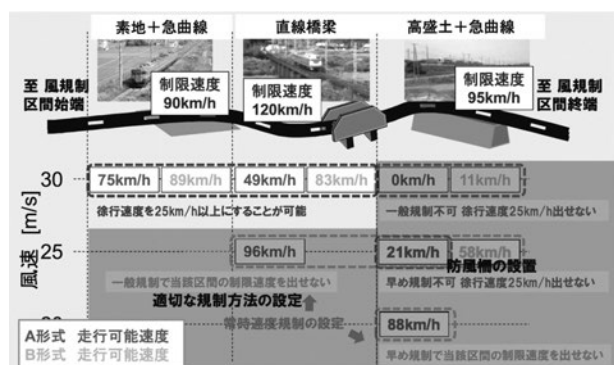


図9 強風時の走行可能速度②

「一般規制」への変更を考えた場合、図8から「高盛土」区間では、風速30m/s時にA形式の走行可能速度は0km/h（停車していても輪重減少率が許容値を超える可能性あり）、B形式は11km/hと徐行速度の25km/hを大きく下回っていることが大きな課題になる。このような場合でも「一般規制」に変更をする場合の手立ては、防風柵の設置が最も現実的な解決策となる。

以上のように、「総研詳細式」では車両形式と地上構造物形状の組合せごとに転覆耐力を計算することができるため、柔軟かつ多様に運転規制方法や地上対策を検討することが可能である。

これまで、規制発令風速や徐行速度については一律の値を定めてそれを踏襲してきたが、本風規制方法においては、これらの値をフレキシブルに設定できるようになれば、より一層有効な規制方法を設定できるようになる。

ただし、前述の運転規制方法や地上対策は、それぞれメリット、デメリットがあり、どれも容易に採用できるものではない。その点は、風規制区間に本風規制方法を導入する目的、必要性、リスクなどを十分勘案して、どれが採用可能で最も有効なのかを熟慮する必要があるが、様々な手立てを検討対象にできることは本風規制方法の大きな特徴である。

## 4. 導入実績

本風規制方法は、外部学識経験者、有識者などの検討会、委員会審議を経て、2011年12月の羽越本線が最初の導入事例となり、その後、表2に示す各線区および区間に導入した。これら区間については、入線する車両形式すべてを対象に転覆耐力を計算した上で、新たな規制や対策を設定し、風観測については前述の「3本風速計」を導入している。

表2の網掛けとなっている風規制区間（羽越本線：羽前水沢～羽前大山、越後線：越後赤塚～内野・青山～関屋）については、これら区間に入線する各車両形式で転覆耐力を計算したところ「一般規制」に変更できるという結果が得られたため、羽越本線脱線転覆事故後「早め規制」としていたが、本風規制導入により「一般規制」に変更した。

表2 強風時の新たな風規制ルール導入箇所一覧

| 線区   | 区間        | 導入時期        | 導入前の取扱い          |               | 導入後の取扱い          |               |
|------|-----------|-------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
|      |           |             | 25km/h以下<br>速度規制 | 運転中止          | 25km/h以下<br>速度規制 | 運転中止          |
| 羽越本線 | 羽前水沢～羽前大山 | 2011年12月9日  |                  |               | 風速<br>25m/s以上    | 風速<br>30m/s以上 |
|      | 小波渡～羽前水沢  |             |                  |               |                  |               |
| 京葉線  | 新習志野～海浜幕張 | 2012年3月22日  |                  |               | 風速<br>20m/s以上    | 風速<br>25m/s以上 |
|      | 千葉みなと～蘇我  | 2012年3月23日  |                  |               |                  |               |
| 越後線  | 越後赤塚～内野   | 2012年11月20日 | 風速<br>20m/s以上    | 風速<br>25m/s以上 | 風速<br>25m/s以上    | 風速<br>30m/s以上 |
|      | 青山～関屋     | 2012年12月7日  |                  |               | 風速<br>20m/s以上    | 風速<br>25m/s以上 |
|      | 白山～新潟     | 2012年12月20日 |                  |               |                  |               |

：規制発令風速を5m/s向上させた区間



これら区間に設定した新たな規制や対策としては、羽越本線では「車両形式別の制限速度の設定（常時速度制限）」、越後線では軽量な特急車両の転覆耐力向上のための改造（車体重量を増加）、京葉線については高架橋に防風柵を設置している。

図10に越後線3区間の導入後の強風時運転規制発生時間総計を示す。この図の「導入後」のグラフは実際の規制発生時間の総計を示し、「導入前」のグラフは風速計の当該期間のデータを用いて、本風規制方法を導入していなかったら（「国枝式」に基づく風規制方法のままであったら）どれだけ規制発生時間が生じていたかの推計を示している。

図10から、「一般規制」に変更した2区間については、「早め規制」から規制風速が5m/sアップした効果があり、強風による運転規制発生時間は大幅に減少していることが分かる。また、「早め規制」のままの1区間についても、風観測に「3本風速計」を導入した効果があり、導入前の推計に対して規制発生時間は減少している。

表2の京葉線2区間については、「早め規制」のまま「3本風速計」を導入したが、1年間のデータ推計の結果、1～2割程度の規制発生時間減少となっている。

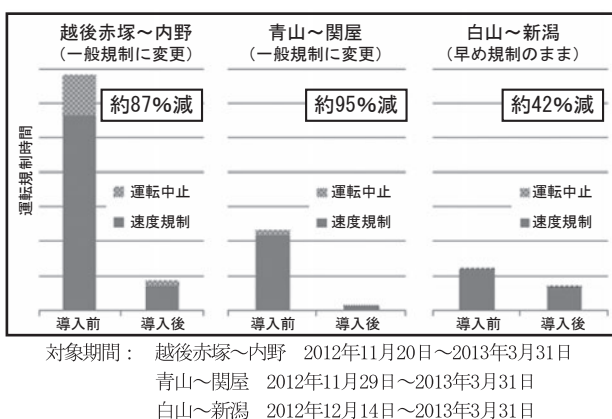


図10 強風による運転規制発生時間総計

## 5. 今後の課題

本風規制方法については、以下のような課題がある。

- ・地上構造物査定の課題
    - －地上構造物の代表的な形状についての選択肢がまだ少なく、過剰に安全側の査定をしなくてはならないケースがあるため、今後、風洞試験による解析などにより選択肢を増やしていく必要がある
  - ・転覆耐力が小さな値となる
    - －条件によっては転覆耐力が非常に小さな値となるため、「総研詳細式」のパラメータや風観測方法の中から、安全性を過剰に見込んでいる要素を検証し、適正な数値や方法に見直していく必要がある
- これらの課題から、本風規制方法を導入するのが困難な

風規制区間も多く、まだ上記課題解決のための研究を必要としている。

## 6. まとめ

強風時の風規制について、従来よりもより合理的な科学的な根拠に基づいた車両の転覆耐力評価と風観測方法を「総研詳細式」と「3本風速計」を用いて、実用化した。

適正かつ精緻な計算により、風規制に必要な運転規制や車両、地上の対策方法を多様かつ柔軟に検討できる風規制方法を構築した。

これまでに本風規制方法を導入した区間では、強風による運転規制発生時間を減少させる実績を上げている。しかし、風規制区間によっては車両や地上構造物の条件により、安全性を過剰に見込まなくてはならないケースも多いことから、これからも研究開発によって本風規制方法をより実用的なものとするべく、取り組んでいく計画である。

## 参考文献

- 1) JR東日本グループ社会環境報告書2012, pp.58
- 2) 航空・鉄道事故調査委員会；鉄道事故調査報告（東日本旅客鉄道株式会社 羽越線砂越駅～余目駅間 列車脱線事故）, 2008.4
- 3) 日比野有ほか；車両の転覆限界風速に関する静的解析法, 鉄道総研報告, Vol.17, No.4, pp.39-44, 2003.4
- 4) 国枝正春；鉄道車両の転ぶに関する力学的理論解析, 鉄道技術研究報告, No.793, pp.1-15, 1972.2
- 5) 種本勝二ほか；横風に対する車両の空気力学的特性風洞試験, 鉄道総研報告, Vol.13, No.12, pp.47-52, 1999.12
- 6) 種本勝二ほか；強風下での車両に働く空気力と低減対策に関する風洞試験, 鉄道総研報告, Vol.18, No.9, pp.7-22, 2004
- 7) 日比野有；風に対する車両の安全性, RRR, Vol.65, No.9, pp.2-7, 2008.9
- 8) 日比野有ほか；強風時の新しい運転規制方法の検討, JR EAST Technical Review, No.35, pp.36-41, 2011
- 9) 栗原芳勝ほか；線路状況や車体形状等を考慮した風規制手法の導入について, 第19回鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL 2012）講演論文集, pp.473-476